

トロイダルプラズマの運動論的統合シミュレーション

京都大学 大学院工学研究科 教授

福山 淳

〔お問い合わせ先〕 E-MAIL : fukuyama.atsushi.3e@kyoto-u.ac.jp



研究の背景

太陽のエネルギー源である核融合反応を地球上で実現し、持続的なエネルギー源にするための研究が進められています。核融合反応は、無尽蔵に近い燃料資源が存在し、環境の大きな負荷になる有害物質を発生しないという特徴がありますが、エネルギー源にするためには、高温の電離気体（プラズマ）を閉じ込め、1億℃まで加熱することが必要です。そのための有力な手段として、磁場を用いてドーナツ型のトロイダルプラズマを形成し、外部から粒子ビームや電磁波で加熱する方式の研究が進展し、国際協力により国際熱核融合実験炉（ITER）の建設が進められています。ITERの建設に伴い、炉心プラズマのふるまいをあらかじめ予測するための、統合シミュレーションコードの開発が急務になっています。特に外部からの加熱や核融合反応によって生成する高速の電子やイオンは、加熱効率だけでなく、閉じ込め性能やプラズマ形状の安定性にも大きな影響を与えるため、正確な記述が求められていました。

研究の成果

炉心プラズマにおける高速粒子のふるまいをより正確に記述するため、プラズマの密度や温度の時間発展を記述する従来の解析とは異なる、各粒子種々の速度分布関数（速度空間2次元・実空間1次元）の時間発展解析に基づく運動論的統合シミュレーションコードが開発されました。図1に示すように、速度分布関数の時間発展解析が、プラズマの形状を定める電磁流体平衡、プラズマの急激な変形を引き起こす巨視的安定性、加熱・電流駆動・燃料供給の外部入力などの解析モジュールと組み合わせられ、データを交換することによって、自己無撞着な（つ

じつまのあう）炉心プラズマ統合シミュレーションが実行されます。

ITERプラズマにおいて、電子、外部から加熱された燃料イオン（重水素と三重水素）、そして核融合反応により生成したヘリウムイオン（ α 粒子）の速度分布関数の径方向依存性を図2に示します。各粒子種間のクーロン衝突によるエネルギー緩和や小半径方向の乱流輸送を含めた解析により、高速イオンの空間拡散係数のエネルギー依存性が、核融合出力パワーに大きな影響を与えることが初めて示されました。

今後の展望

速度分布関数解析を並列処理により高精度化し、燃焼プラズマへの立ち上げやプラズマ消滅時の逃走電子生成などのシミュレーションが実現しつつあります。また、高速イオンが低周波数不安定性に及ぼす影響の解析も進んでいます。これらの解析を組み合わせた運動論的統合シミュレーションの結果を、トロイダルプラズマ実験や第一原理的シミュレーションの結果と比較検証することによって、より精度の高い性能予測や効率的な運転シナリオの開発への貢献が期待されます。

関連する科研費

2008-2012年度 基盤研究 (S) 「トロイダルプラズマの運動論的統合シミュレーションコードの開発」
2014-2016年度 基盤研究 (B) 「トカマクプラズマにおける高速イオン駆動低周波不安定性の運動論的解析」

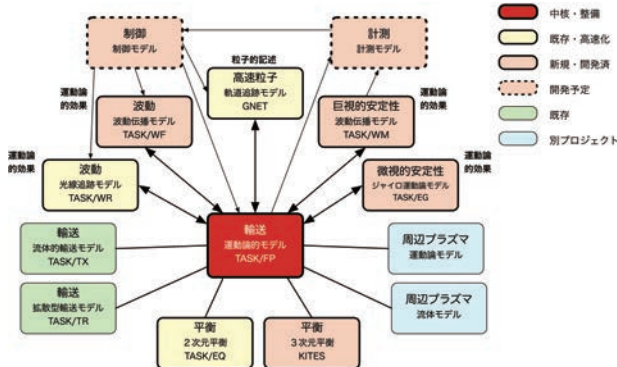


図1 運動論的統合シミュレーションコードの構成

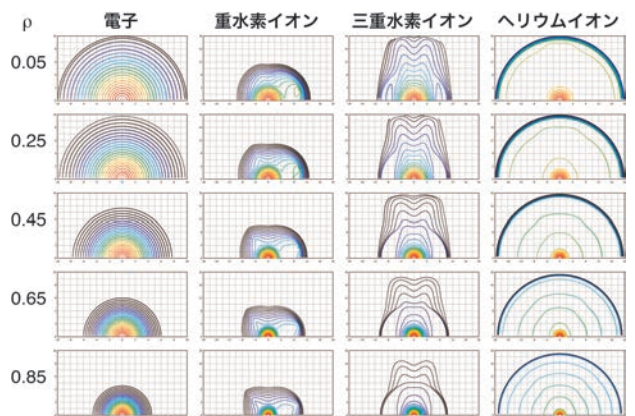


図2 各粒子種々の速度分布関数（等高線表示）の規格化小半径 ρ 依存性